PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-093194

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl. H01S 3/18
H01L 33/00

(21)Application number : 08-239309

(22)Date of filing : 10.09.1996

(71)Applicant : NEC CORP

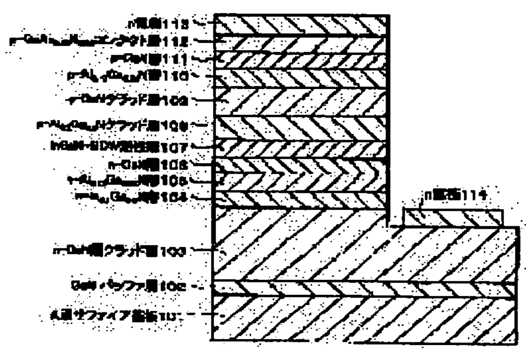
(72)Inventor : SUMINO MASAYOSHI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a reliable nitride semiconductor light-emitting element which can operate at low voltage, while decreasing contact resistance by a p-type or n-type $GaN_{1-x}As_z$ layer $(0<x<0.2)$ or $InGaN_{1-x}As_x$ layer $(0<x<0.2)$ at a part which touches a metal electrode.

SOLUTION: A p-type or n-type $GaN_{1-x}As_x$ layer $(0<x<0.2)$ or $InGaN_{1-x}As_x$ layer $(0<x<0.2)$ is employed as a semiconductor layer 112 at a part, touching a metal electrode. The contact layer 112 comprises a high quality p-type $GaN_{1-x}As_x$ crystal, having a band gap which is one half that of GaN and a thickness equal to or shorter than a critical film thickness. Consequently, the width and the height of Schottky barrier at the hole in the interface of the metal electrode and the semiconductor contact layer can be halved. This structure significantly decreases the contact resistance of a nitride semiconductor light-emitting element and provides a working voltage close to that of an LD element formed on an ordinary GaAs substrate. Since heating is suppressed during operation, the threshold value, temperature characteristic and reliability of a nitride semiconductor laser are enhanced.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	10.09.1996
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	26.06.2001
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	
[Date of registration]	
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

CLAIMS

[Claim(s)]
[Claim 1] The semi-conductor layer of the part which touches a metal electrode in the light emitting device using the nitride semi-conductor of a GaN system is GaN1-X AsX of p mold or n mold. A layer (0<X<0.2) or InGaN1-X AsX Nitride semi-conductor light emitting device characterized by being a layer (0<X<0.2).
[Claim 2] Two or more GaN1-X AsX from which the As presentation X differs [said semi-conductor layer] A layer (0<X<0.2) or InGaN1-X AsX Nitride semi-conductor light emitting device according to claim 1 characterized by combining and constituting the layer (0<X<0.2) so that it may become large as the As presentation X approaches an electrode.
[Claim 3] Said semi-conductor layer is GaN1-Y PY of p mold or n mold. A layer (0<Y<0.2) or InGaN1-Y PY Nitride semi-conductor light emitting device characterized by being a layer (0<Y<0.2).
[Claim 4] Two or more GaN1-Y PY layers (0<Y<0.2) or InGaN1-Y PY from which the P presentation Y differs [said semi-conductor layer] Nitride semi-conductor light emitting device according to claim 3 characterized by combining and constituting the layer (0<Y<0.2) so that it may become large as the P presentation Y approaches an electrode.
[Claim 5] The nitride semi-conductor light emitting device of claim 1-4 to which thickness of said semi-conductor layer is characterized by being 100nm or less by 1nm or more given in any 1 term.
[Claim 6] The nitride semi-conductor light emitting device of claim 1-5 further characterized by adjoining each layer and coming to form an intermetallic-compound epitaxial layer between said metal electrodes and said semi-conductor layers given in any 1 term.
[Claim 7] The nitride semi-conductor light emitting device according to claim 6 to which it is characterized by said intermetallic-compound epitaxial layer being nickel0.5 In0.5 or nickel0.5 0.5 (In1-W TIW) (0<W<1).
[Claim 8] The nitride semi-conductor light emitting device according to claim 6 or 7 to which thickness of said semi-conductor layer is characterized by being 200nm or less by 2nm or more.
[Claim 9] said semi-conductor layer — one layer (0<X1<0.2) of GaN1-X1AsX(s) of p mold — a well — the nitride semi-conductor light emitting device according to claim 1 or 2 characterized by being the superstructure object of a layer and the GaN1-X2AsX two-layer (0 <=X2<X1<0.2) barrier layer of p mold.

[Translation done.]

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]
[0001]
[Field of the Invention] This invention relates to a nitride semi-conductor light emitting device. It is related with the nitride semi-conductor light emitting device effectively used as semiconductor laser in more detail.
[0002]
[Description of the Prior Art] The light emitting diode (LED) using the nitride semi-conductor of a GaN system is already produced commercially, and, as for current, research of the laser diode (LD) of a GaN system nitride semi-conductor is advanced energetically. For example, L217 page of Japanese journal OBU applied physics magazine 35 volumes will have the report entitled "the InGaN multiplex quantum well structure laser diode which has a cleavage mirror resonator side" in 1996. Drawing 14 shows the cross-section structure of the nitride semiconductor laser diode component of the GaN system indicated by this. This is the report of the room temperature pulse oscillation in the oscillation wavelength of 415nm of GaN system nitride semiconductor laser. Since wavelength is short compared with the conventional red LD, GaN system nitride semiconductor laser attracts the big attention as the light source for pickup of the optical disk unit of the next generation which has high recording density.
[0003]
[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, the operating voltage in the oscillation threshold current value of this laser is still very as high as 30V. This is because the contact resistance of a p mold GaN contact layer and p electrode is mainly large. Drawing 9 is the sectional view showing typically the band structure of a metal electrode and a p mold GaN semi-conductor boundary side. The big shot key barrier is between GaN and a metal electrode. The band gap of GaN is large and especially its shot key barrier of a hole is large. Especially in order to attain the room temperature continuous oscillation of GaN system nitride semiconductor laser, it is indispensable to reduce the contact resistance by the side of p, to realize OMIKKU contact, and to lower the operating voltage of laser. This invention is made in view of the above-mentioned problem, and contact resistance is small, and low-battery actuation is possible, and it aims at offering the nitride semi-conductor light emitting device which has high-reliability.
[0004]
[Means for Solving the Problem] The semi-conductor layer of the part which touches a metal electrode in the light emitting device using the nitride semi-conductor of a GaN system according to this invention in order to attain the above-mentioned purpose is GaN1-X AsX of p mold or n mold. A layer (0<X<0.2) or InGaN1-X AsX The nitride semi-conductor light emitting device characterized by being a layer (0<X<0.2) is offered.
[0005] Moreover, two or more GaN1-X AsX from which the As presentation X differs [said semi-conductor layer] as the desirable mode A layer (0<X<0.2) or InGaN1-X AsX The nitride semi-conductor light emitting device characterized by combining and constituting the layer (0<X<0.2) so that it may become large as the As presentation X approaches an electrode is offered.
[0006] Moreover, said semi-conductor layer is GaN1-Y PY of p mold or n mold as the desirable mode. A layer (0<Y<0.2) or InGaN1-Y PY The nitride semi-conductor light emitting device characterized by being a layer (0<Y<0.2) is offered.
[0007] Moreover, two or more GaN1-Y PY from which the P presentation Y differs [said semi-conductor layer] as the desirable mode A layer (0<Y<0.2) or InGaN1-Y PY The nitride semi-conductor light emitting device characterized by combining and constituting the layer (0<Y<0.2) so that it may become large as the P presentation Y approaches an electrode is offered.
[0008] Moreover, the nitride semi-conductor light emitting device to which thickness of said semi-conductor layer is characterized by being 100nm or less by 1nm or more as the desirable mode is offered.
[0009] Moreover, the nitride semi-conductor light emitting device characterized by adjoining each layer and coming to form an intermetallic-compound epitaxial layer is further offered between said metal electrodes and said semi-conductor layers as the desirable mode.
[0010] Moreover, the nitride semi-conductor light emitting device to which said intermetallic-compound epitaxial layer is characterized by being nickel0.5 In0.5 or nickel0.5 0.5 (In1-W TlW) (0<W<1) as the desirable mode is offered.
[0011] Moreover, the nitride semi-conductor light emitting device to which thickness of said semi-conductor layer is characterized by being 200nm or less by 2nm or more as the desirable mode is offered.
[0012] furthermore -- as the desirable mode -- said semi-conductor layer -- one layer (0<X1<0.2) of GaN1-X1AsX(s) of p mold -- a well -- the nitride semi-conductor light emitting device characterized by being the superstructure object of a layer and the GaN1-X2AsX two-layer (0 <=X2<X1<0.2) barrier layer of p mold is offered.
[0013]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained concretely. In this invention, GaN1-X AsX (0<X<0.2) of p mold or n mold, InGaN1-X AsX (0<X<0.2), GaN1-Y PY, and (0<Y<0.2) InGaN1-Y PY (0<Y<0.2) are used as a semi-conductor layer of the part which touches a metal electrode. The p mold GaN is explained below. By putting several% of As into GaN, a band gap can be made smaller than GaN. However, if the As presentation X is increased, it is GaN1-X AsX. A layer produces grid mismatching gradually. Drawing 10 is GaN1-XAsX. It is the graph which shows the relation between the As presentation X and the amount epsilon of lattice strains. For example, the deformation amount of 0.04 layer of GaN0.96As(es) on GaN becomes 3.4%. Drawing 11 is GaN1-X AsX. It is the graph which shows the As presentation X of a layer, and the relation of a band gap. The band gap of 0.04 layer of this drawing to GaN0.96As(es) is 2.63eV, and it turns out that only about 0.77eV of band gaps is small from the URUTSU mold GaN. The height of the shot key barrier of the hole of a metal electrode and a semi-conductor contact boundary side can be made small by using the small ingredient of a band gap for a contact layer so that it may understand from the cross section of the band structure of the metal electrode shown in drawing 9 , and a p type semiconductor boundary side.
[0014] Drawing 12 is GaN1-X AsX. It is the graph which shows the As presentation X of a layer, and the relation of critical thickness. Since a GaN system ingredient is very hard, the critical thickness of a GaN system ingredient is larger than the critical thickness of a GaAs system ingredient. Drawing 12 shows that the critical thickness of 0.04 layer of GaN0.96As(es) is 16nm, for example. Since the thickness of the 0.04-layer contact layer of GaN0.96As(es) of the example of this invention is 15nm, it is below critical thickness. It is necessary to control As presentation and to carry out for obtaining a good crystal, at the thickness below critical thickness. For example, 1nm - 100nm is desirable. GaN1-X AsX of this invention A contact layer is a good crystal with which a band gap has critical below thickness thickness small, as shown in the top.
[0015] If a band gap is a small and good crystal below critical thickness, more high-concentration p doping can be performed. As shown in drawing 9 , the contact layer of high p doping concentration has the operation which makes small width of face of the shot key barrier of the hole of a metal electrode and a semi-conductor contact boundary side. If the width of face of the shot key barrier becomes small, the contact resistance of a component will decrease and the operating voltage of a component will become small. Therefore, GaN1-X AsX of this invention The nitride semi-conductor light emitting device which has a layer contact layer has the description of low resistance and low operating voltage actuation compared with a component without it. It is very effective when attaining the room temperature continuous action of semiconductor laser, since generation of heat at the time of actuation is suppressed by this.
[0016] nickel0.5 In0.5 The intermetallic-compound (0<W<1) layer of nickel0.5 0.5 (In1-W TlW) etc. has the same high electrical conductivity as a metal. nickel0.5 In0.5 The grid mismatching deformation amount with GaN of the usual URUTSU mold is nickel0.5 In0.5 which is 2% and has the tensile strain of a thin film on GaN. Epitaxial growth is possible. nickel0.5 0.5 (In1-W TlW) Since GaN of a URUTSU mold and the lattice constant within a field can be made in agreement by adjusting the Tl presentation W, the intermetallic-compound layer of a thick film can be formed. GaN1-X AsX of a compressive strain a contact layer -- a GaN layer and nickel0.5 In0.5 nickel0.5 0.5 (In1-W TlW) etc. -- if it is made the structure inserted by the intermetallic-compound epitaxial layer, in order that a distorted contact layer may support from both sides by the lattice matching layer -- a rearrangement -- entering -- being hard -- critical thickness increases twice. Drawing 13 is GaN1-X AsX sandwiched by the lattice matching layer from both sides. It is the graph which shows the As presentation X of a layer, and the relation of critical thickness. The curve shown by the dotted line is a critical thickness curve when not being inserted from both sides. Above-mentioned GaN1-X AsX GaN1-X AsX with a small band gap with the larger As presentation X than a contact layer A contact layer is obtained or it is GaN1-X AsX. It turns out that the thickness of a contact layer can be increased twice. For example, by inserting 0.08 layer of GaN0.92As(es) from both sides by the lattice matching layer in this way, the critical thickness of 0.08 layer of GaN0.92As(es) increases from 4.3nm to 19nm. Drawing 11 shows that the band gap of 0.08 layer of GaN0.92As(es) is 1.917eV. This is equal to the magnitude of the band gap of GaInP which carries out lattice matching to a GaAs substrate. 1019cm - three sets of high concentration p doping are possible for this GaInP. It means that the band gap of a contact layer had decreased only by about 1.5eV by using 0.08 layer of GaN0.92As(es) since the band gap of GaN was 3.4eV. This is a twice [in 0.04 layer of GaN0.96As(es) described previously] as many decrement as this.
[0017] After all, as stated in the top, these intermetallic-compound epitaxial layers are used, and it is GaN1-X AsX from both sides. By pinching a contact layer, the contact resistance of LD component decreases further and it is effective in operating voltage becoming small. The thickness of the intermetallic-compound layer in this case has desirable 5-200nm. Moreover, the thickness of the semi-conductor layer at the time of using this intermetallic-compound layer has desirable 2-200nm.
[0018]
[Example] Hereafter, an example explains this invention still more concretely.
[Example 1] drawing 1 is the sectional view of the GaN system nitride semi-conductor light emitting device (LD) of the 1st example of this invention. As shown in drawing 1 , the GaN system LD Ath page silicon on sapphire 101 with a thickness of 350 micrometers, the GaN buffer layer 102 of 30nm of thickness, the n-GaN layer 103 of 3 micrometers of thickness, the n-In0.1 Ga0.9 N layer 104 of 100nm of thickness, n-aluminum0.15Ga0.85N layer 105 of 400nm of thickness, The n-GaN layer 106 of 100nm of thickness, the InGaN/GaN-MQW barrier layer 107, the p-aluminum0.2 Ga0.8 N cladding layer 108 of 20nm of thickness, the p-GaN layer 109 of 100nm of thickness, the p-aluminum0.15Ga0.85N cladding layer 110 of 400nm of thickness, It consists of the p-GaN cladding layer 111 of 500nm of thickness, the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112 of 15nm of thickness, a p electrode 113, and an n electrode 114. the InGaN-MQW barrier layer 107 -- 2.5nm In0.2 Ga0.8 N -- a well -- it is the multiplex quantum well (MQW) layer of 20 periods of a layer and a 5nm In0.05Ga0.95N barrier layer. p dopant used for each class is Mg, and n dopant is Si. The description of this invention is to have the p-GaAs0.04N0.96

contact layer 112 of 15nm of thickness.

[0019] The above-mentioned LD is producible using an organic metal gaseous-phase epitaxial (MOVPE) grown method or a gas source molecular-beam PITAKISHARU (GSMBE) grown method. The production approach of the above-mentioned LD component of the 1st example of this invention by the MOVPE method is described below. The manufacture approach described below also in subsequent examples can be used. In V group raw material, they are NH3, AsH3, and III. Trimethylindium (TMIn), trimethylgallium (TMGa), and trimethylaluminum (TMAl) are used for a group raw material. In p dopant raw material, it is SiH4 to CP2 Mg and n dopant raw material. It uses.

[0020] Ath page silicon on sapphire 101 is first introduced into the coil which is a deposition chamber, and it is H2. Carrier gas was passed to the coil. After carrying out the temperature up of the substrate to 1150 degrees C and overheating for 10 minutes in the condition, it lowers to 550 degrees C, and it is NH3. TMGa was introduced and the GaN buffer layer 102 of 30nm of thickness was grown up. Then, H2 Substrate temperature is raised to 1000 degrees C, passing carrier gas to a coil, and it is NH3. TMGa and SiH4 It introduces and the n-GaN layer 103 of 3 micrometers of thickness is grown up. Although there was no less than 14% of grid mismatching in silicon on sapphire and GaN, crystalline good GaN was obtained by growing up the GaN buffer layer 102 of low-temperature growth first, and controlling the thickness. Next, TMIn was introduced and the n-In0.1 Ga0.9 N layer 104 of 100nm of thickness for cracking prevention was grown up. Thus, sequential growth was carried out. The p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112 which is the description of this invention is NH3. AsH3 TMGa and CP2 Mg were introduced and were grown up. p-doping concentration was made or more [5x1018cm -] into three. The crystal of the good quality within critical thickness was obtained by setting layer pressure of the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112 to 15nm. After growth drove out H atom which performed heat annealing at the temperature of 600 degrees C for 1 hour, and was incorporated during the crystal, activated Mg, and raised p concentration.

[0021] The temperature fall after growth termination was slowly performed so that silicon on sapphire might not break. After taking out a wafer, it etched by having attached the p electrode 113 on the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112, the n electrode 114 was attached in the n-GaN layer 103, and LD component was obtained. The structure of the body containing the barrier layer of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the following examples is common, and a contact layer only differs from the part of an electrode. Therefore, this invention is applicable to LD of the structure of arbitration.

[0022] [Example 2] drawing 2 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 2nd example of this invention. As shown in drawing 2 , except that only the parts of the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112 differ, it is the same LD structure as the 1st example. That is, the 2nd example is the GaN system nitride semiconductor laser diode of the structure which transposed the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112 of 15nm of thickness of the 1st example to the step contact layer 204 which consists of the p-GaAs0.01N0.99 contact layer 201 of 20nm of thickness, a p-GaAs0.02N0.98 contact layer 202 of 5nm of thickness, and a p-GaAs0.04N0.96 contact layer 203 of 10nm of thickness. In the step contact layer 204, the magnitude of the band gap of a contact layer is becoming small gradually according to increase of As presentation. Thereby, since the rapid band gap difference of the p-GaN cladding layer 111 and the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 203 can be eased, resistance of a component can be lowered.

[0023] [Example 3] drawing 3 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 3rd example of this invention. As shown in drawing 3 , it is LD of the structure which transposed the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 112 to the p-GaP0.04N0.96 contact layer 301 of 20nm of thickness, and is the GaN system nitride semiconductor laser diode of the same structure as the 1st example except it. GaPX N1-X It has the property in which a band gap falls greatly with the increment in the P presentation X. Moreover, since there are few deformation amounts to GaN than GaAs0.04N0.96, GaP0.04N0.96 has the advantage which can take the large thickness of a contact layer.

[0024] [Example 4] drawing 4 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 4th example of this invention. As shown in drawing 4 , it is the GaN system nitride semiconductor laser diode of the structure which transposed the step contact layer 204 of an example 2 to the step contact layer 404 which consists of the p-GaP0.01N0.99 contact layer 401 of 5nm of thickness, a p-GaP0.02N0.98 contact layer 402 of 5nm of thickness, and a p-GaP0.04N0.96 contact layer 403 of 12nm of thickness. By the step contact layer 404, since the rapid band gap difference of the p-GaN cladding layer 111 and the p-GaP0.04N0.96 contact layer 403 can be eased, resistance of a component can be lowered.

[0025] [Example 5] drawing 5 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 5th example of this invention. As shown in drawing 5 , it is nickel0.5 In0.5 of 15nm of thickness between the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 501 of 15nm of thickness, and the p electrode 113. It is the GaN system nitride semiconductor laser diode of an example 1 and this structure except having structure whose intermetallic-compound layer 502 was pinched. nickel0.5 In0.5 The intermetallic-compound layer 502 is a tensile strain, since the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 501 is a compressive strain, by combining these, distorted compensation is carried out, it suits, and the whole deformation amount is reduced. The crystal structure of these intermetallic compounds is a CsCl mold, and differs from the sphalerite mold crystal structure of III-V compound semiconductors, such as GaAs and InP, or the URUTSU mold crystal structure of GaN. However, nickel0.5 In0.5 Lattice constant 3.1 Lattice constant 3.16 within a field of the URUTSU mold GaN Since it is almost equal, the epitaxial growth to a GaN top is possible. It carries out on the growth conditions which the p-GaAs0.04N0.96 contact layer 501 mentioned above. However, since the crystal growth of the intermetallic-compound thin film on GaN is the heteroepitaxial growth of heteroatom structure, different growth conditions from usual are required for it.

[0026] The growth approach of the intermetallic-compound layer on GaN used for below in this example is described. Since the front face of a GaN semi-conductor layer is covered by the monoatomic layer of Ga, the amount of the residual

V group of a deposition chamber is fully dropped and one atomic layer of nickel which is next the transition metals of an intermetallic-compound layer is grown up in case an intermetallic-compound layer is grown up on GaN, it is nickel0.5 In0.5. The intermetallic-compound layer was grown up. Growth temperature of an intermetallic-compound layer was performed at low temperature. If it is migration enhancing DOEPI taxi (MEE) growth and is about 350 degrees C and MBE growth, it is about 450 degrees C. However, in the intermetallic-compound layer of a lattice matching system, MEE growth may be carried out on InP at the growth temperature of about 250 degrees C.

[0027] [Example 6] drawing 6 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 6th example of this invention. As shown in drawing 6 , it is nickel0.5 In0.5 of an example 5. nickel0.5 0.5 of 50nm of thickness which carried out lattice matching of the intermetallic-compound layer 502 to GaN (TIX In1-X) It is the GaN system nitride semiconductor laser diode of an example 5 and this structure except having structure replaced in the intermetallic-compound layer 602. nickel0.5 0.5 (TIX In1-X) By pinching the p-GaAs0.08N0.92 contact layer 501 in the intermetallic-compound layer 602, reduction of a 1.5eV band gap is realizable. nickel0.5 0.5 (TIX In1-X) Since lattice matching of the intermetallic-compound layer 602 is carried out to GaN, it is quality and can form the epitaxial electrode of the intermetallic compound of a thick film.

[0028] [Example 7] drawing 7 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 7th example of this invention. nickel0.5 0.5 of 10nm of thickness which carried out lattice matching to the p-GaAs0.08N0.92 contact layer 701 of 19nm of thickness, and GaN as shown in drawing 7 (TIX In1-X) The intermetallic-compound layer 702 and nickel0.5 In0.5 of 10nm of thickness nickel0.5 0.5 of the intermetallic-compound layer 703 and 50nm of thickness which carried out lattice matching to GaN (TIX In1-X) It is the GaN system nitride semiconductor laser diode which has the contact layer structure which consists of an intermetallic-compound layer 704. nickel0.5 0.5 of 10nm of thickness which carried out lattice matching to GaN (TIX In1-X) The intermetallic-compound layer 702 is the p-GaAs0.08N0.92 contact layer 701 and nickel0.5 In0.5. It is a relaxation layer for improving the abrupt change [layer / 703 / intermetallic-compound] of interface distortion.

[0029] [Example 8] drawing 8 is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 8th example of this invention. it is shown in drawing 8 — as — p-GaAs of the p-GaAs0.01N0.99 barrier layer 801 of 5nm of thickness, and 3nm of thickness — nickel0.5 0.5 of 50nm of thickness which carried out lattice matching to the superlattice contact layer 804 and GaN of five periods of a layer 802 0.92 well 0.08 N (TIX In1-X) It is the GaN system nitride semiconductor laser diode which has the contact layer structure which consists of an intermetallic-compound layer 803. Since a hole can penetrate the superlattice contact layer 804 of 40nm of thickness in a resonance tunnel and can reach a metal electrode, contact resistance reduces it.

[0030]

[Effect of the Invention] The contact layer in this invention is good p mold GaN1-X AsX which has the band gap of the one half of GaN, and has the thickness below critical thickness. It is a crystal. Since the band gap is small, three or more [5x1018cm -] high-concentration p doping can be performed. nickel0.5 In0.5 used for this invention nickel0.5 0.5 (In1-X TIX) etc. — an intermetallic-compound layer — GaN1-X AsX in order to support on both sides of a distorted contact layer in a GaN layer — a rearrangement — entering — being hard — critical thickness increases twice. Therefore, GaN1-X AsX with a more small band gap A layer can be used for a contact layer. Consequently, a metal electrode, the width of face of the shot key barrier of the hole of a semi-conductor contact boundary side, and height can be reduced by half. The contact resistance of a nitride semi-conductor light emitting device decreases greatly, and the operating voltage near LD component on the usual GaAs substrate is obtained by this. Consequently, since generation of heat at the time of actuation is suppressed, the room temperature continuous action of nitride semiconductor laser can be attained. In addition to it, the threshold of nitride semiconductor laser, the temperature characteristic, and dependability can be raised remarkably.

[Translation done.]

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]
[Drawing 1] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 1st example of this invention.
[Drawing 2] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 2nd example of this invention.
[Drawing 3] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 3rd example of this invention.
[Drawing 4] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 4th example of this invention.
[Drawing 5] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 5th example of this invention.
[Drawing 6] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 6th example of this invention.
[Drawing 7] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 7th example of this invention.
[Drawing 8] It is the sectional view of the GaN system nitride semiconductor laser diode of the 8th example of this invention.
[Drawing 9] It is the sectional view showing typically the band structure of a metal electrode and a p type semiconductor boundary side.
[Drawing 10] GaN1-X AsX It is the graph which shows the relation of the As presentation X and the amount epsilon of lattice strains of a layer.
[Drawing 11] GaN1-X AsX It is the graph which shows the As presentation X of a layer, and the relation of a band gap.
[Drawing 12] GaN1-X AsX It is the graph which shows the As presentation X of a layer, and the relation of critical thickness.
[Drawing 13] GaN1-X AsX inserted from both sides It is the graph which shows the As presentation X of a layer, and the relation of critical thickness.
[Drawing 14] It is the sectional view showing the structure of the nitride semiconductor laser diode component of the conventional GaN system.
[Description of Notations]
101 Ath Page Silicon on Sapphire
102 GaN Buffer Layer
103 N-GaN Layer
104 N-In0.1 Ga0.9 N Layer
105 N-aluminum0.15Ga0.85N Layer
106 N-GaN Layer
107 InGaN/GaN-MQW Barrier Layer
108 P-aluminum0.2 Ga0.8 N Cladding Layer
109 P-GaN Layer
110 P-aluminum0.15Ga0.85N Cladding Layer
111 P-GaN Cladding Layer
112 P-GaAs0.04N0.96 Contact Layer
113 P Electrode
114 N Electrode
201 P-GaAs0.01N0.99 Contact Layer
202 P-GaAs0.02N0.98 Contact Layer
203 P-GaAs0.04N0.96 Contact Layer
204 Step Contact Layer
301 P-GaP0.04N0.96 Contact Layer
401 P-GaP0.01N0.99 Contact Layer
402 P-GaP0.02N0.98 Contact Layer
403 P-GaP0.04N0.96 Contact Layer
404 Step Contact Layer

501 P-GaAs0.04N0.96 Contact Layer
502 Nickel0.5 In0.5 Intermetallic-Compound Layer
602 Nickel0.5 0.5 (TIX In1-X) Intermetallic-Compound Layer
701 P-GaAs0.08N0.92 Contact Layer
702 Nickel0.5 0.5 (TIX In1-X) Intermetallic-Compound Layer
703 Nickel0.5 In0.5 Intermetallic-Compound Layer
704 Nickel0.5 0.5 (TIX In1-X) Intermetallic-Compound Layer
801 P-GaAs0.01N0.99 Barrier Layer
802 P-GaAs0.08N0.92 Well — Layer
803 Nickel0.5 0.5 (TIX In1-X) Intermetallic-Compound Layer
804 Superlattice Contact Layer
901 Conduction Band
902 Fermi Level
903 Valence Band
904 Width of Face of Shot Key Barrier
905 Height of Shot Key Barrier
906 Hole
907 Metal Electrode
908 P Type Semiconductor Layer

[Translation done.]

(19)日本国特許庁（ＪＰ）

(12) **公開特許公報**（Ａ）

(11)特許出願公開番号

特開平10－93194

(43)公開日　平成10年(1998)４月10日

(51)Int.Cl.⁶	識別記号	ＦＩ	
Ｈ０１Ｓ　3/18		Ｈ０１Ｓ　3/18	
Ｈ０１Ｌ　33/00		Ｈ０１Ｌ　33/00	Ｃ

審査請求　有　　請求項の数９　ＯＬ　（全 11 頁）

(21)出願番号　特願平8－239309

(22)出願日　平成８年(1996)９月10日

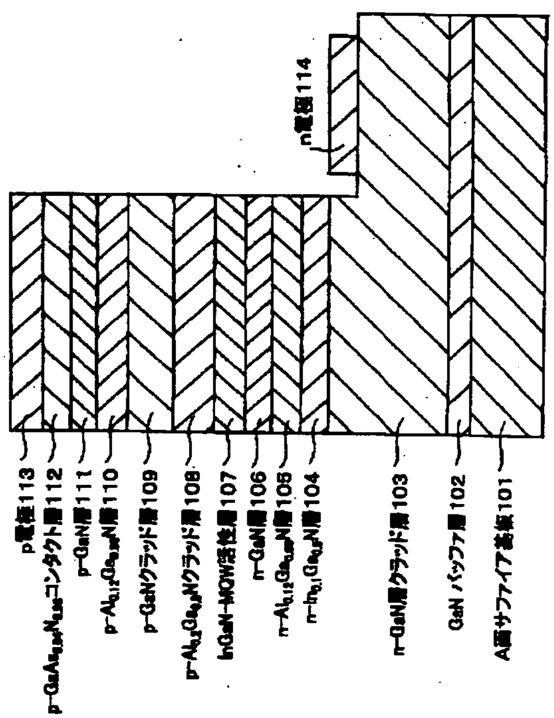
(71)出願人　000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目７番１号

(72)発明者　角野　雅芳
東京都港区芝五丁目７番１号　日本電気株式会社内

(74)代理人　弁理士　渡辺　喜平

(54)【発明の名称】　窒化物半導体発光素子

(57)【要約】
【課題】　接触抵抗が小さく、低電圧動作が可能で、かつ高信頼性を有する窒化物半導体発光素子を提供する。
【解決手段】　ＧａＮ系の窒化物半導体を用いた発光素子において、金属電極と接する部分の半導体層を、ｐ型またはｎ型の、$GaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）または $InGaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）とする。



【特許請求の範囲】
【請求項１】　ＧａＮ系の窒化物半導体を用いた発光素子において、金属電極と接する部分の半導体層が、ｐ型またはｎ型の、$GaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）または $InGaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）であることを特徴とする窒化物半導体発光素子。
【請求項２】　前記半導体層が、Ａｓ組成Ｘの異なる複数の、$GaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）または $InGaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）を、そのＡｓ組成Ｘが電極に近づくに従って大きくなるように組み合わせて構成されていることを特徴とする請求項１記載の窒化物半導体発光素子。
【請求項３】　前記半導体層が、ｐ型またはｎ型の、$GaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）または $InGaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）であることを特徴とする窒化物半導体発光素子。
【請求項４】　前記半導体層が、Ｐ組成Ｙの異なる複数の、$GaN_{1-Y}P_Y$層（０＜Ｙ＜０．２）または $InGaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）を、そのＰ組成Ｙが電極に近づくに従って大きくなるように組み合わせて構成されていることを特徴とする請求項３記載の窒化物半導体発光素子。
【請求項５】　前記半導体層の層厚が、１nm以上で１００nm以下であることを特徴とする請求項１〜４のいずれか１項記載の窒化物半導体発光素子。
【請求項６】　前記金属電極と前記半導体層との間に、さらに金属間化合物エピタキシャル層を、それぞれの層に隣接して形成してなることを特徴とする請求項１〜５のいずれか１項記載の窒化物半導体発光素子。
【請求項７】　前記金属間化合物エピタキシャル層が、$Ni_{0.5}In_{0.5}$、または$Ni_{0.5}(In_{1-W}Tl_W)_{0.5}$（０＜Ｗ＜１）であることを特徴とする請求項６記載の窒化物半導体発光素子。
【請求項８】　前記半導体層の層厚が、２nm以上で２００nm以下であることを特徴とする請求項６または７記載の窒化物半導体発光素子。
【請求項９】　前記半導体層が、ｐ型の$GaN_{1-X1}As_{X1}$層（０＜Ｘ１＜０．２）ウエル層とｐ型の$GaN_{1-X2}As_{X2}$層（０≦Ｘ２＜Ｘ１＜０．２）バリア層との超格子構造体であることを特徴とする請求項１または２記載の窒化物半導体発光素子。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物半導体発光素子に関する。さらに詳しくは、半導体レーザとして有効に用いられる窒化物半導体発光素子に関する。
【０００２】
【従来の技術】ＧａＮ系の窒化物半導体を用いた発光ダイオード（ＬＥＤ）は、すでに製品化されており、現在はＧａＮ系窒化物半導体のレーザダイオード（ＬＤ）の研究が精力的に進められている。たとえば、１９９６年ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス誌３５巻のＬ２１７ページに「劈開ミラー共振器面を有するＩｎＧａＮ多重量子井戸構造レーザダイオード」と題する報告がある。図１４は、これに記載されたＧａＮ系の窒化物半導体ＬＤ素子の断面構造を示す。これは、ＧａＮ系窒化物半導体レーザの発振波長４１５nmにおける室温パルス発振の報告である。ＧａＮ系窒化物半導体レーザは従来の赤色ＬＤと較べて波長が短いので、高い記憶密度を有する次世代の光ディスク装置のピックアップ用光源として大きな注目を集めている。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】しかしながら、まだこのレーザの発振閾電流値での動作電圧は３０Ｖと非常に高い。これは主にｐ型ＧａＮコンタクト層とｐ電極との接触抵抗が大きいためである。図９は、金属電極とｐ型ＧａＮ半導体層界面のバンド構造を模式的に示す断面図である。ＧａＮと金属電極との間には大きなショットキーバリアがある。ＧａＮはバンドギャップが大きく、特にホールのショットキーバリアが大きい。ＧａＮ系窒化物半導体レーザの室温連続発振を達成するためには、特にｐ側のコンタクト抵抗を低減し、オーミックな接触を実現させ、レーザの動作電圧を下げることが不可欠である。本発明は上記問題に鑑みなされたものであり、接触抵抗が小さく、低電圧動作が可能で、かつ高信頼性を有する窒化物半導体発光素子を提供することを目的とする。
【０００４】
【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明によれば、ＧａＮ系の窒化物半導体を用いた発光素子において、金属電極と接する部分の半導体層が、ｐ型またはｎ型の、$GaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）または $InGaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）であることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。
【０００５】また、その好ましい態様として、前記半導体層が、Ａｓ組成Ｘの異なる複数の、$GaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）または $InGaN_{1-X}As_X$ 層（０＜Ｘ＜０．２）を、そのＡｓ組成Ｘが電極に近づくに従って大きくなるように組み合わせて構成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。
【０００６】また、その好ましい態様として、前記半導体層が、ｐ型またはｎ型の、$GaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）または $InGaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）であることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。
【０００７】また、その好ましい態様として、前記半導体層が、Ｐ組成Ｙの異なる複数の、$GaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）または $InGaN_{1-Y}P_Y$ 層（０＜Ｙ＜０．２）を、そのＰ組成Ｙが電極に近づくに従っ

て大きくなるように組み合わせて構成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0008】また、その好ましい態様として、前記半導体層の層厚が、1nm以上で100nm以下であることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0009】また、その好ましい態様として、前記金属電極と前記半導体層との間に、さらに金属間化合物エピタキシャル層を、それぞれの層に隣接して形成してなることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0010】また、その好ましい態様として、前記金属間化合物エピタキシャル層が、$Ni_{0.5}In_{0.5}$、または$Ni_{0.5}(In_{1-W}Tl_{W})_{0.5}$（0＜W＜1）であることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0011】また、その好ましい態様として、前記半導体層の層厚が、2nm以上で200nm以下であることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0012】さらに、その好ましい態様として、前記半導体層が、p型の$GaN_{1-X1}As_{X1}$層（0＜X1＜0.2）ウエル層とp型の$GaN_{1-X2}As_{X2}$層（0≦X2＜X1＜0.2）バリア層との超格子構造体であることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を具体的に説明する。本発明においては、金属電極と接する部分の半導体層として、p型またはn型の$GaN_{1-X}As_{X}$（0＜X＜0.2），$InGaN_{1-X}As_{X}$（0＜X＜0.2），$GaN_{1-Y}P_{Y}$（0＜Y＜0.2）および$InGaN_{1-Y}P_{Y}$（0＜Y＜0.2）が用いられる。以下p型GaNについて説明する。GaNに数%のAsを入れることで、バンドギャップをGaNより小さくすることができる。しかしながらAs組成Xを増やすと$GaN_{1-X}As_{X}$層は徐々に格子不整合を生じる。図10は、$GaN_{1-X}As_{X}$のAs組成Xと格子歪量εとの関係を示すグラフである。例えば、GaN上の$GaN_{0.96}As_{0.04}$層の歪量は3.4%になる。図11は、$GaN_{1-X}As_{X}$層のAs組成Xとバンドギャップの関係を示すグラフである。この図から$GaN_{0.96}As_{0.04}$層のバンドギャップは2.63eVであり、約0.77eVだけウルツ型GaNよりバンドギャップが小さくなっていることがわかる。図9に示す金属電極とp型半導体層界面のバンド構造の断面からわかるように、バンドギャップの小さい材料をコンタクト層に用いることで金属電極と半導体コンタクト層界面のホールのショットキーバリアの高さを小さくすることができる。

【0014】図12は、$GaN_{1-X}As_{X}$層のAs組成Xと臨界膜厚の関係を示すグラフである。GaN系材料は非常に堅いので、GaN系材料の臨界膜厚はGaAs系材料の臨界膜厚より大きい。図12から、例えば$GaN_{0.96}As_{0.04}$層の臨界膜厚は16nmであることがわかる。本発明の実施例の$GaN_{0.96}As_{0.04}$層コンタクト層の層厚は15nmなので、臨界膜厚以下である。良質な結晶を得るにはAs組成を制御し臨界膜厚以下の層厚にする必要がある。例えば1nm～100nmが好ましい。本発明の$GaN_{1-X}As_{X}$コンタクト層は、上で示したようにバンドギャップが小さくかつ臨界膜厚以下層厚を有する良質な結晶である。

【0015】バンドギャップが小さくかつ臨界膜厚以下の良質な結晶であればより高濃度のpドーピングを行うことができる。図9に示すように、高pドーピング濃度のコンタクト層は金属電極と半導体コンタクト層界面のホールのショットキーバリアの幅を小さくする作用がある。ショットキーバリアの幅が小さくなると素子の接触抵抗が低減し、素子の動作電圧が小さくなる。故に本発明の$GaN_{1-X}As_{X}$層コンタクト層を有する窒化物半導体発光素子は、それがない素子に比べて、低抵抗、低動作電圧動作の特徴を有する。これによって動作時の発熱が抑えられるため半導体レーザの室温連続動作を達成する上で極めて効果的である。

【0016】$Ni_{0.5}In_{0.5}$や$Ni_{0.5}(In_{1-W}Tl_{W})_{0.5}$（0＜W＜1）などの金属間化合物層は金属と同様の高い電気伝導性を有する。$Ni_{0.5}In_{0.5}$と通常のウルツ型のGaNとの格子不整合歪量は2%であり、GaN上に薄膜の引張歪を有する$Ni_{0.5}In_{0.5}$のエピタキシャル成長が可能である。$Ni_{0.5}(In_{1-W}Tl_{W})_{0.5}$はTl組成Wを調整することでウルツ型のGaNと面内の格子定数を一致させることができるので厚膜の金属間化合物層が形成できる。圧縮歪の$GaN_{1-X}As_{X}$コンタクト層をGaN層と$Ni_{0.5}In_{0.5}$や$Ni_{0.5}(In_{1-W}Tl_{W})_{0.5}$などの金属間化合物エピタキシャル層で挟んだ構造にすると、格子整合層によって両側から歪コンタクト層が支えられるため転位が入りにくくなり、臨界膜厚は2倍に増大する。図13は格子整合層によって両側から挟まれた$GaN_{1-X}As_{X}$層のAs組成Xと臨界膜厚の関係を示すグラフである。点線で示した曲線は両側から挟まれていない場合の臨界膜厚曲線である。前述の$GaN_{1-X}As_{X}$コンタクト層よりAs組成Xが大きくバンドギャップが小さい$GaN_{1-X}As_{X}$コンタクト層が得られるか、あるいは$GaN_{1-X}As_{X}$コンタクト層の厚さを2倍に増大できることがわかる。例えばこのように格子整合層によって両側から$GaN_{0.92}As_{0.08}$層を挟むことによって、$GaN_{0.92}As_{0.08}$層の臨界膜厚は4.3nmから19nmに増大する。図11から、$GaN_{0.92}As_{0.08}$層のバンドギャップは1.917eVであることがわかる。これはGaAs基板に格子整合するGaInPのバンドギャップの大きさに等しい。このGaInPは$10^{19}cm^{-3}$台の高濃度pドーピングが可能である。GaNのバンドギャップは3.4eVであるから、$GaN_{0.92}As_{0.08}$層を用いることで約1.5eVだけコンタクト層のバンドギャップが

減少したことになる。これは先程述べた$GaN_{0.96}As_{0.04}$層の場合の２倍の減少量である。

【００１７】結局、上で述べたように、これらの金属間化合物エピタキシャル層を用いて両側から$GaN_{1-X}As_X$コンタクト層を挟むことによって、さらにＬＤ素子の接触抵抗が低減し、動作電圧が小さくなる効果がある。この場合の金属間化合物層の層厚は、５～２００ｎｍが好ましい。また、この金属間化合物層を用いた場合の半導体層の層厚は２～２００nmが好ましい。

【００１８】

【実施例】以下、本発明を実施例によってさらに具体的に説明する。

［実施例１］図１は、本発明の第１の実施例のＧａＮ系窒化物半導体発光素子（ＬＤ）の断面図である。図１に示すようにＧａＮ系ＬＤは、厚さ３５０μｍのＡ面サファイア基板１０１、層厚３０nmのＧａＮバッファ層１０２、層厚３μｍのｎ－ＧａＮ層１０３、層厚１００nmのｎ－$In_{0.1}Ga_{0.9}N$層１０４、層厚４００nmのｎ－$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$層１０５、層厚１００nmのｎ－ＧａＮ層１０６、ＩｎＧａＮ／ＧａＮ－ＭＱＷ活性層１０７、層厚２０nmのｐ－$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$クラッド層１０８、層厚１００nmのｐ－ＧａＮ層１０９、層厚４００nmのｐ－$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$クラッド層１１０、層厚５００nmのｐ－ＧａＮクラッド層１１１、層厚１５nmのｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２、ｐ電極１１３、ｎ電極１１４からなる。ＩｎＧａＮ－ＭＱＷ活性層１０７は２．５nmの$In_{0.2}Ga_{0.8}N$ウエル層と５nmの$In_{0.05}Ga_{0.95}N$バリア層の２０周期の多重量子井戸（ＭＱＷ）層である。各層に用いられるｐドーパントはＭｇ、ｎドーパントはＳｉである。本発明の特徴は層厚１５nmのｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２を有することにある。

【００１９】上記のＬＤは有機金属気相エピタキシャル（ＭＯＶＰＥ）成長法やガスソース分子線ピタキシャル（ＧＳＭＢＥ）成長法を用いて作製できる。以下にＭＯＶＰＥ法による本発明の第１の実施例の上記ＬＤ素子の作製方法を述べる。以降の実施例においても以下に述べる製造方法を用いることができる。Ｖ族原料にはNH_3、AsH_3、III 族原料には、トリメチルインジウム（ＴＭＩｎ）、トリメチルガリウム（ＴＭＧａ）、トリメチルアルミニウム（ＴＭＡｌ）を用いる。ｐドーパント原料にはCP_2Mg、ｎドーパント原料にはSiH_4を用いる。

【００２０】まずＡ面サファイア基板１０１を成長室である反応管に導入し、H_2キャリアガスを反応管に流した。その状態で基板を１１５０℃に昇温させ、１０分間過熱したのち５５０℃に下げて、NH_3とＴＭＧａを導入して層厚３０nmのＧａＮバッファ層１０２を成長させた。その後、H_2キャリアガスを反応管に流したまま基板温度を１０００℃に上げてNH_3とＴＭＧａとSiH_4を導入して層厚３μｍのｎ－ＧａＮ層１０３を成長させる。サファイア基板とＧａＮには１４％もの格子不整合があるが、低温成長のＧａＮバッファ層１０２を最初に成長させ、かつその層厚を制御することで結晶性のよいＧａＮが得られた。次にＴＭＩｎを導入しクラッキング防止のための層厚１００nmのｎ－$In_{0.1}Ga_{0.9}N$層１０４を成長させた。このようにして順次成長させた。本発明の特徴であるｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２はNH_3とAsH_3とＴＭＧａとCP_2Mgを導入して成長させた。ｐ－ドーピング濃度は$5\times10^{18}cm^{-3}$以上とした。ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２の層圧を１５nmとすることで臨界膜厚以内の良好な品質の結晶が得られた。成長後は６００℃の温度で１時間熱アニールを行い結晶中に取り込まれたＨ原子を追い出し、Ｍｇを活性化させｐ濃度を向上させた。

【００２１】成長終了後の降温はサファイア基板が割れないようにゆっくり行った。ウエハを取り出した後、ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２上にｐ電極１１３を付け、エッチングを行いｎ－ＧａＮ層１０３にｎ電極１１４を取り付けてＬＤ素子を得た。以下の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの活性層を含む本体の構造は共通であり、コンタクト層および電極の部分が異なるだけである。従って本発明は任意の構造のＬＤに適用可能である。

【００２２】［実施例２］図２は、本発明の第２の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。図２に示すように、ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２の部分のみが異なる以外は第１の実施例と同じＬＤ構造である。即ち、第２実施例は、第１実施例の層厚１５nmのｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２を層厚２０nmのｐ－$GaAs_{0.01}N_{0.99}$コンタクト層２０１、層厚５nmのｐ－$GaAs_{0.02}N_{0.98}$コンタクト層２０２、層厚１０nmのｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層２０３からなるステップコンタクト層２０４に置き換えた構造のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤである。ステップコンタクト層２０４ではコンタクト層のバンドギャップの大きさがＡｓ組成の増大によって徐々に小さくなっている。これにより、ｐ－ＧａＮクラッド層１１１とｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層２０３との急激なバンドギャップ差を緩和できるので素子の抵抗を下げることができる。

【００２３】［実施例３］図３は、本発明の第３の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。図３に示すように、ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層１１２を層厚２０nmのｐ－$GaP_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層３０１に置き換えた構造のＬＤであり、それ以外は第１の実施例と同じ構造のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤである。GaP_XN_{1-X}もＰ組成Ｘの増加と共にバンドギャップが大きく低下する性質を有する。また、$GaP_{0.04}N_{0.96}$は$GaAs_{0.04}N_{0.96}$よりＧａＮに対する歪量が少

ないのでコンタクト層の厚さを大きくとれる利点がある。

【0024】［実施例4］図4は、本発明の第4の実施例のGaN系窒化物半導体LDの断面図である。図4に示すように、実施例2のステップコンタクト層204を、層厚5nmのp－$GaP_{0.01}N_{0.99}$コンタクト層401と層厚5nmのp－$GaP_{0.02}N_{0.98}$コンタクト層402と層厚12nmのp－$GaP_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層403からなるステップコンタクト層404に置き換えた構造のGaN系窒化物半導体LDである。ステップコンタクト層404により、p－GaNクラッド層111とp－$GaP_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層403との急激なバンドギャップ差を緩和できるので素子の抵抗を下げることができる。

【0025】［実施例5］図5は、本発明の第5の実施例のGaN系窒化物半導体LDの断面図である。図5に示すように、層厚15nmのp－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層501とp電極113の間に層厚15nmの$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層502を挟んだ構造をしている以外は実施例1と同構造のGaN系窒化物半導体LDである。$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層502は引張歪であり、p－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層501は圧縮歪なので、これらを組み合わせることで歪補償しあい全体の歪量は低減されている。これらの金属間化合物の結晶構造はCsCl型であり、GaAsやInP等のIII-V化合物半導体の閃亜鉛鉱型結晶構造やGaNのウルツ型結晶構造とは異なっている。しかしながら$Ni_{0.5}In_{0.5}$の格子定数3.1　はウルツ型GaNの面内格子定数3.16　にほぼ等しいため、GaN上へのエピタキシャル成長が可能である。p－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層501までは上述した成長条件で行う。しかしながらGaN上の金属間化合物薄膜の結晶成長は、異種原子構造のヘテロエピタキシャル成長なので、通常とは異なる成長条件が必要である。

【0026】以下にこの実施例で用いたGaN上の金属間化合物層の成長方法を述べる。GaN上に金属間化合物層を成長させる際には、GaN半導体層の表面をGaの単原子層で覆い、成長室の残留V族の量を十分に落とし、次に金属間化合物層の遷移金属であるNiを1原子層成長させてから、$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層を成長させた。金属間化合物層の成長温度は低温で行った。マイグレーション・エンハンスドエピタキシー（MEE）成長ならば350℃程度、MBE成長ならば450℃程度である。但し、格子整合系の金属間化合物層においては、250℃程度の成長温度でInP上にMEE成長させてもよい。

【0027】［実施例6］図6は、本発明の第6の実施例のGaN系窒化物半導体LDの断面図である。図6に示すように実施例5の$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層502を、GaNに格子整合した層厚50nmの$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層602で置き換えた構造をしていること以外は実施例5と同構造のGaN系窒化物半導体LDである。$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層602でp－$GaAs_{0.08}N_{0.92}$コンタクト層501を挟むことにより、1.5eVのバンドギャップの低減が実現できる。$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層602はGaNに格子整合しているので、高品質で厚膜の金属間化合物のエピタキシャル電極が形成できる。

【0028】［実施例7］図7は、本発明の第7の実施例のGaN系窒化物半導体LDの断面図である。図7に示すように、層厚19nmのp－$GaAs_{0.08}N_{0.92}$コンタクト層701、GaNに格子整合した層厚10nmの$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層702、層厚10nmの$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層703、GaNに格子整合した層厚50nmの$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層704からなるコンタクト層構造を有するGaN系窒化物半導体LDである。GaNに格子整合した層厚10nmの$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層702はp－$GaAs_{0.08}N_{0.92}$コンタクト層701と$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層703の界面歪の急激な変化を改善するための緩和層である。

【0029】［実施例8］図8は、本発明の第8の実施例のGaN系窒化物半導体LDの断面図である。図8に示すように、層厚5nmのp－$GaAs_{0.01}N_{0.99}$バリア層801と層厚3nmのp－$GaAs_{0.08}N_{0.92}$ウエル層802の5周期の超格子コンタクト層804とGaNに格子整合した層厚50nmの$Ni_{0.5}(Tl_xIn_{1-x})_{0.5}$金属間化合物層803からなるコンタクト層構造を有するGaN系窒化物半導体LDである。ホールは層厚40nmの超格子コンタクト層804を共鳴トンネルで透過し金属電極に到達することができるため接触抵抗が低減する。

【0030】

【発明の効果】本発明におけるコンタクト層は、GaNの半分のバンドギャップを有しかつ臨界膜厚以下の層厚を有する良質なp型$GaN_{1-x}As_x$結晶である。バンドギャップが小さいため$5\times10^{18}cm^{-3}$以上の高濃度のpドーピングを行うことができる。本発明に用いられる$Ni_{0.5}In_{0.5}$や$Ni_{0.5}(In_{1-x}Tl_x)_{0.5}$などの金属間化合物層は、$GaN_{1-x}As_x$歪コンタクト層をGaN層とで挟んで支えるため転位が入りにくくなり、臨界膜厚は2倍に増大する。従って、よりバンドギャップの小さい$GaN_{1-x}As_x$層をコンタクト層に用いることができる。その結果、金属電極と半導体コンタクト層界面のホールのショットキーバリアの幅と高さを半減させることができる。これによって窒化物半導体発光素子の接触抵抗が大きく低減し、通常のGaAs基板上のLD素子に近い動作電圧が得られる。その結果、動

作時の発熱が抑えられるため窒化物半導体レーザの室温連続動作を達成することができる。それに加えて、窒化物半導体レーザの閾値、温度特性、信頼性を著しく向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図２】本発明の第２の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図３】本発明の第３の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図４】本発明の第４の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図５】本発明の第５の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図６】本発明の第６の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図７】本発明の第７の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図８】本発明の第８の実施例のＧａＮ系窒化物半導体ＬＤの断面図である。

【図９】金属電極とｐ型半導体層界面のバンド構造を模式的に示す断面図である。

【図１０】$GaN_{1-X}As_X$ 層のＡｓ組成Ｘと格子歪量 ε との関係を示すグラフである。

【図１１】$GaN_{1-X}As_X$ 層のＡｓ組成Ｘとバンドギャップの関係を示すグラフである。

【図１２】$GaN_{1-X}As_X$ 層のＡｓ組成Ｘと臨界膜厚の関係を示すグラフである。

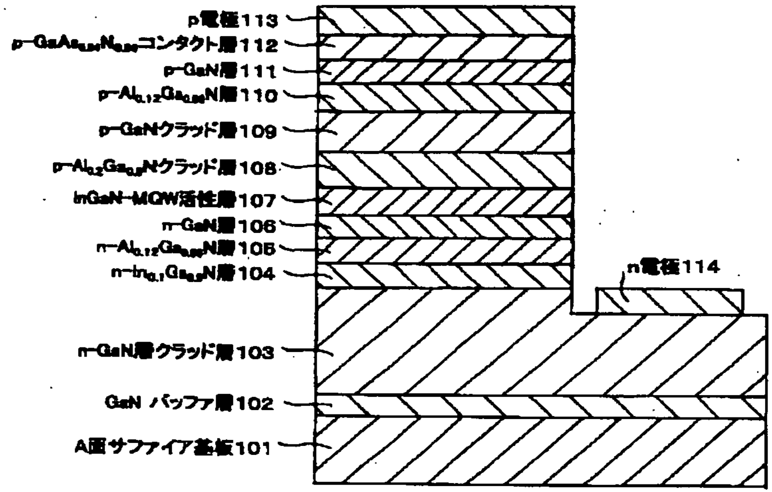
【図１３】両側から挟まれた $GaN_{1-X}As_X$ 層のＡｓ組成Ｘと臨界膜厚の関係を示すグラフである。

【図１４】従来のＧａＮ系の窒化物半導体ＬＤ素子の構造を示す断面図である。

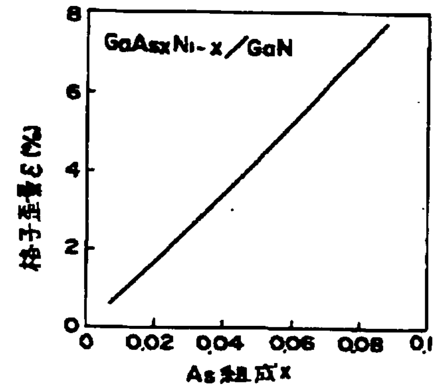
【符号の説明】

１０１　Ａ面サファイア基板
１０２　ＧａＮバッファ層
１０３　ｎ－ＧａＮ層
１０４　ｎ－$In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層
１０５　ｎ－$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層
１０６　ｎ－ＧａＮ層
１０７　ＩｎＧａＮ／ＧａＮ－ＭＱＷ活性層
１０８　ｐ－$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層
１０９　ｐ－ＧａＮ層
１１０　ｐ－$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ クラッド層
１１１　ｐ－ＧａＮクラッド層
１１２　ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$ コンタクト層
１１３　ｐ電極
１１４　ｎ電極
２０１　ｐ－$GaAs_{0.01}N_{0.99}$ コンタクト層
２０２　ｐ－$GaAs_{0.02}N_{0.98}$ コンタクト層
２０３　ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$ コンタクト層
２０４　ステップコンタクト層
３０１　ｐ－$GaP_{0.04}N_{0.96}$ コンタクト層
４０１　ｐ－$GaP_{0.01}N_{0.99}$ コンタクト層
４０２　ｐ－$GaP_{0.02}N_{0.98}$ コンタクト層
４０３　ｐ－$GaP_{0.04}N_{0.96}$ コンタクト層
４０４　ステップコンタクト層
５０１　ｐ－$GaAs_{0.04}N_{0.96}$ コンタクト層
５０２　$Ni_{0.5}In_{0.5}$ 金属間化合物層
６０２　$Ni_{0.5}(Tl_X In_{1-X})_{0.5}$ 金属間化合物層
７０１　ｐ－$GaAs_{0.08}N_{0.92}$ コンタクト層
７０２　$Ni_{0.5}(Tl_X In_{1-X})_{0.5}$ 金属間化合物層
７０３　$Ni_{0.5}In_{0.5}$ 金属間化合物層
７０４　$Ni_{0.5}(Tl_X In_{1-X})_{0.5}$ 金属間化合物層
８０１　ｐ－$GaAs_{0.01}N_{0.99}$ バリア層
８０２　ｐ－$GaAs_{0.08}N_{0.92}$ ウエル層
８０３　$Ni_{0.5}(Tl_X In_{1-X})_{0.5}$ 金属間化合物層
８０４　超格子コンタクト層
９０１　伝導帯
９０２　フェルミレベル
９０３　価電子帯
９０４　ショットキーバリアの幅
９０５　ショットキーバリアの高さ
９０６　ホール
９０７　金属電極
９０８　ｐ型半導体層

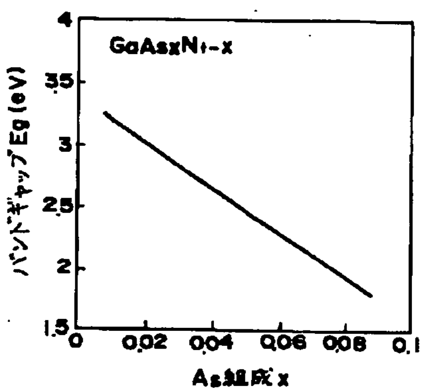
【図１】



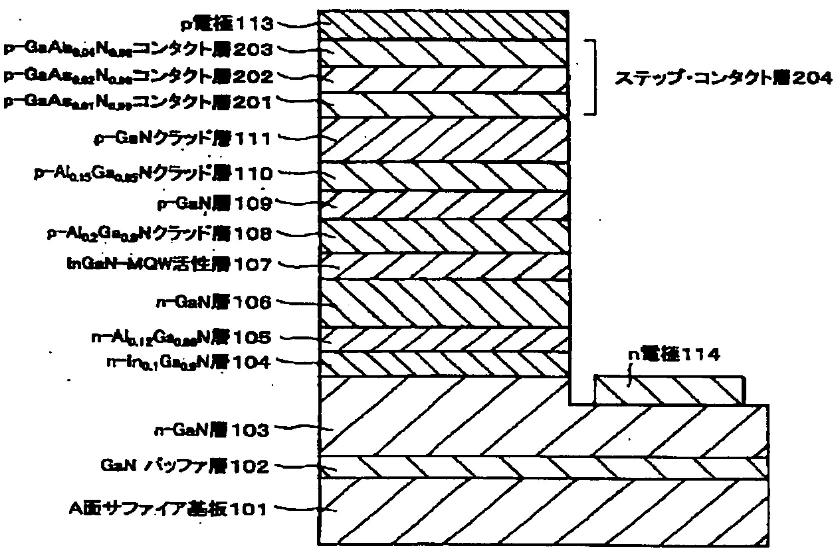
【図１０】



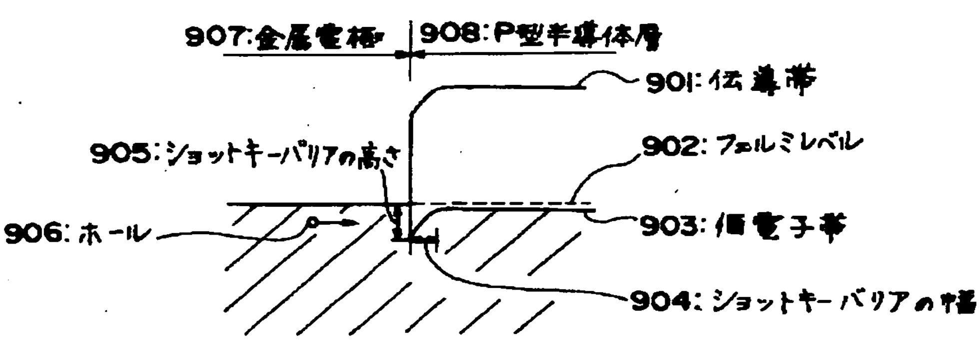
【図１１】



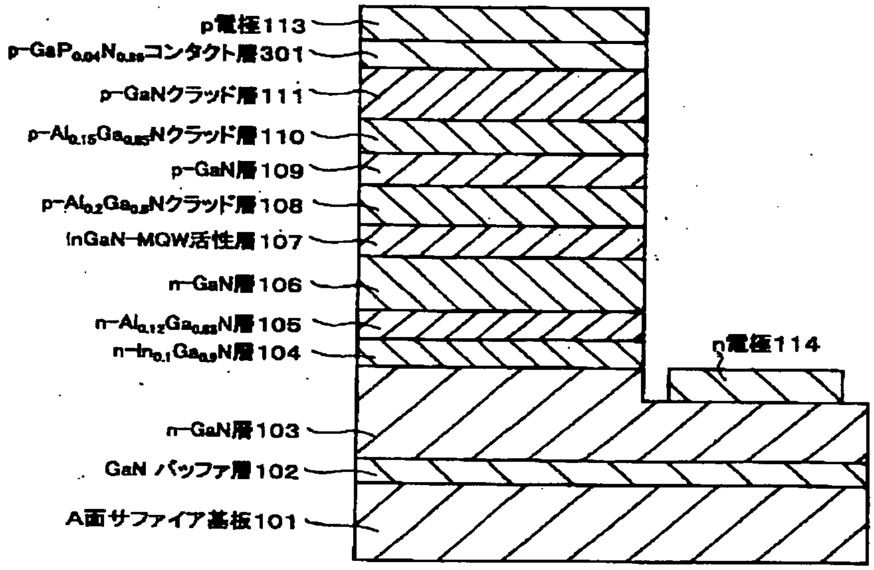
【図２】



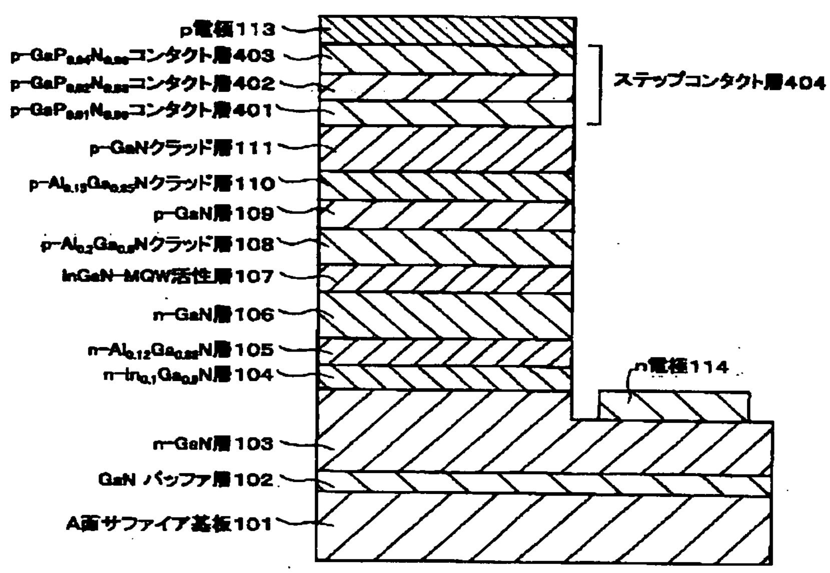
【図９】



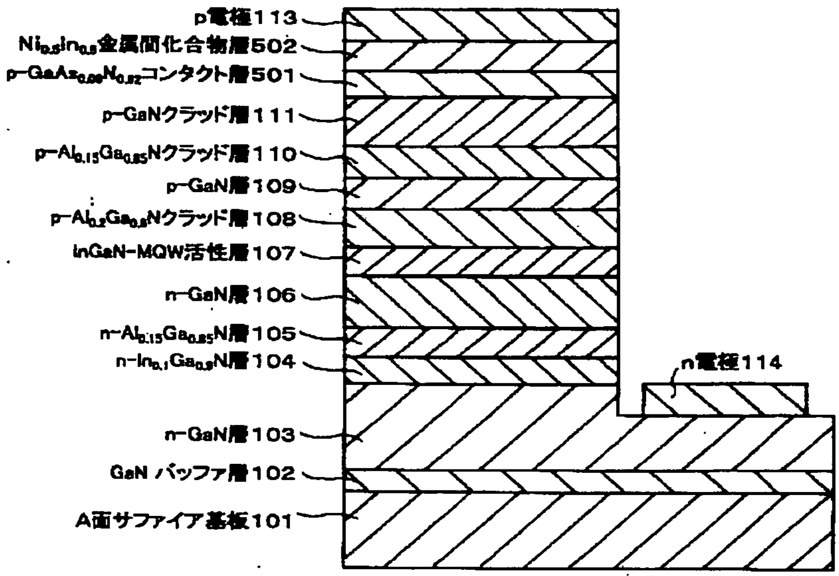
【図3】


p電極113
p-$GaP_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層301
p-GaNクラッド層111
p-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$クラッド層110
p-GaN層109
p-$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$クラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-$Al_{0.12}Ga_{0.88}N$層105
n-$In_{0.1}Ga_{0.9}N$層104
n電極114
n-GaN層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101

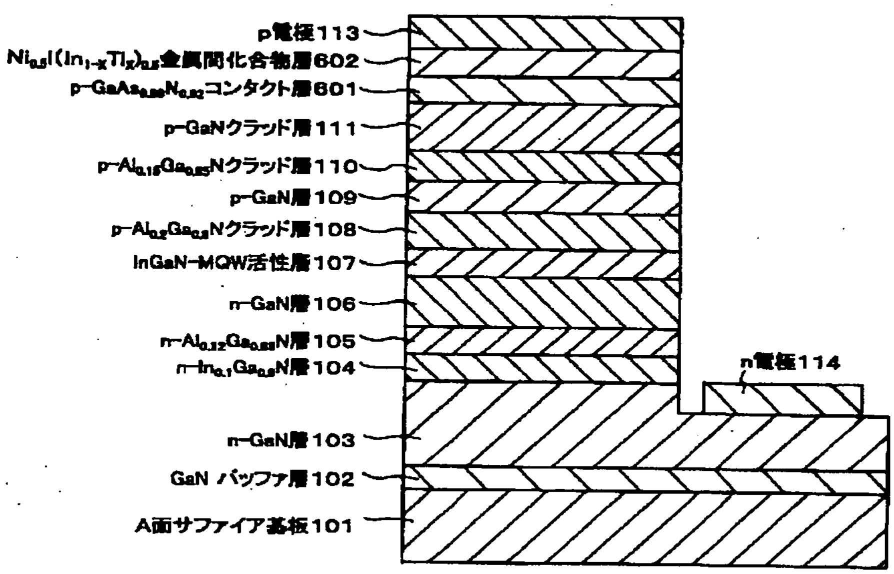
【図4】


p電極113
p-$GaP_{0.04}N_{0.96}$コンタクト層403
p-$GaP_{0.02}N_{0.98}$コンタクト層402
p-$GaP_{0.01}N_{0.99}$コンタクト層401
ステップコンタクト層404
p-GaNクラッド層111
p-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$クラッド層110
p-GaN層109
p-$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$クラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-$Al_{0.12}Ga_{0.88}N$層105
n-$In_{0.1}Ga_{0.9}N$層104
n電極114
n-GaN層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101

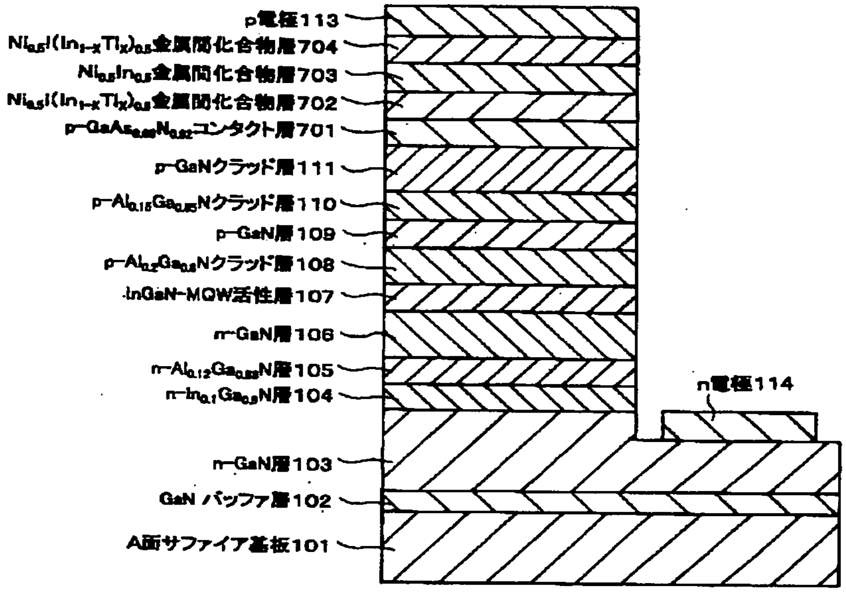
【図５】


p電極113
$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層502
p-$GaAs_{0.08}N_{0.92}$コンタクト層501
p-GaNクラッド層111
p-$Al_{0.15}Ga_{0.85}$Nクラッド層110
p-GaN層109
p-$Al_{0.2}Ga_{0.8}$Nクラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}$N層105
n-$In_{0.1}Ga_{0.9}$N層104
n電極114
n-GaN層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101

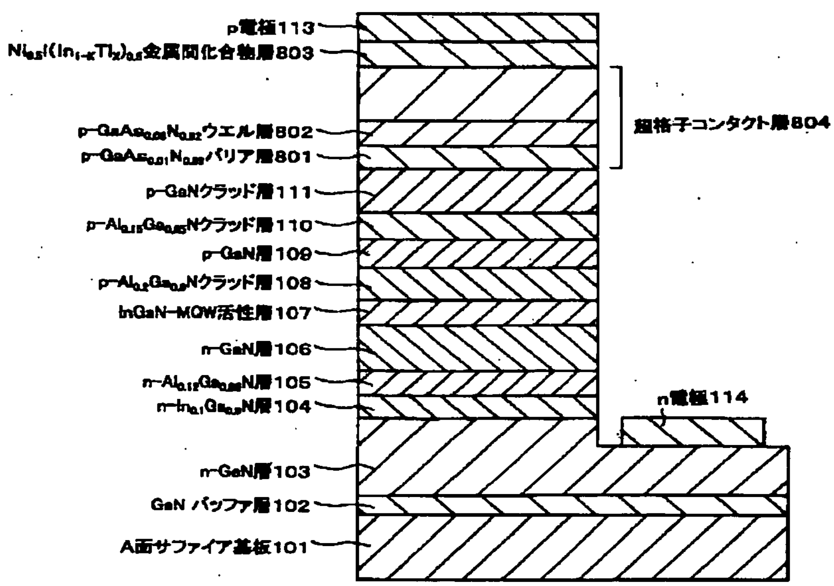
【図６】


p電極113
$Ni_{0.5}(In_{1-x}Tl_x)_{0.5}$金属間化合物層602
p-$GaAs_{0.08}N_{0.92}$コンタクト層601
p-GaNクラッド層111
p-$Al_{0.15}Ga_{0.85}$Nクラッド層110
p-GaN層109
p-$Al_{0.2}Ga_{0.8}$Nクラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-$Al_{0.12}Ga_{0.88}$N層105
n-$In_{0.1}Ga_{0.9}$N層104
n電極114
n-GaN層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101

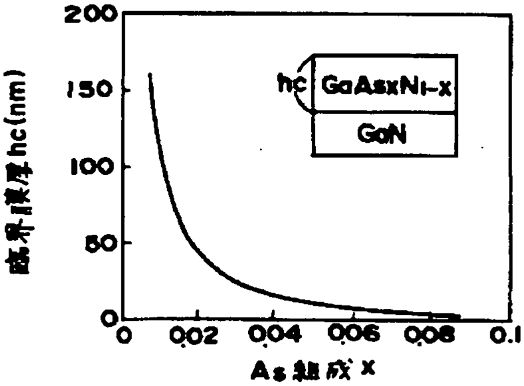
【図7】


p電極113
$Ni_{0.5}(In_{1-x}Tl_x)_{0.5}$金属間化合物層704
$Ni_{0.5}In_{0.5}$金属間化合物層703
$Ni_{0.5}(In_{1-x}Tl_x)_{0.5}$金属間化合物層702
p-$GaAs_{0.98}N_{0.02}$コンタクト層701
p-GaNクラッド層111
p-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$クラッド層110
p-GaN層109
p-$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$クラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-$Al_{0.12}Ga_{0.88}N$層105
n-$In_{0.1}Ga_{0.9}N$層104
n電極114
n-GaN層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101

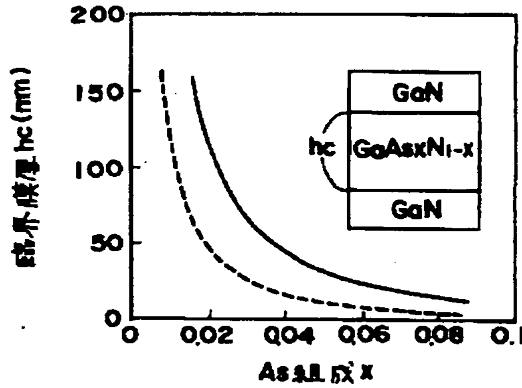
【図8】


p電極113
$Ni_{0.5}(In_{1-x}Tl_x)_{0.5}$金属間化合物層803
p-$GaAs_{0.08}N_{0.92}$ウエル層802
p-$GaAs_{0.01}N_{0.99}$バリア層801
超格子コンタクト層804
p-GaNクラッド層111
p-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$クラッド層110
p-GaN層109
p-$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$クラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-$Al_{0.12}Ga_{0.88}N$層105
n-$In_{0.1}Ga_{0.9}N$層104
n電極114
n-GaN層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101

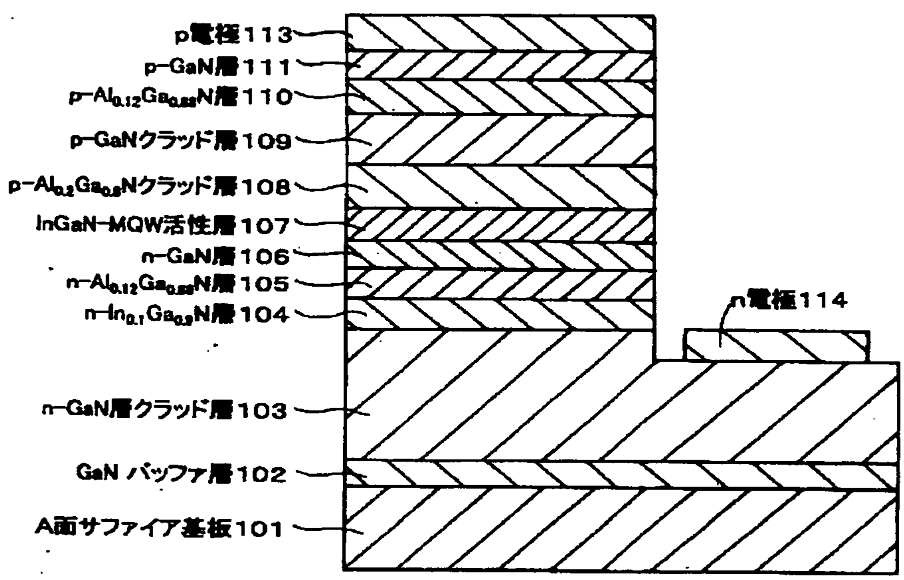
【図１２】


臨界膜厚hc(nm)
As組成X
hc
GaAsxN1-x
GaN
0
50
100
150
200
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1

【図１３】


臨界膜厚hc(nm)
As組成X
GaN
hc
GaAsxN1-x
GaN
0
50
100
150
200
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1

【図１４】


p電極113
p-GaN層111
p-Al0.12Ga0.88N層110
p-GaNクラッド層109
p-Al0.2Ga0.8Nクラッド層108
InGaN-MQW活性層107
n-GaN層106
n-Al0.12Ga0.88N層105
n-In0.1Ga0.9N層104
n電極114
n-GaN層クラッド層103
GaN バッファ層102
A面サファイア基板101